Aus der Chirurgischen Klinik der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin,
Ziegelstraße
(Direktor: Prof. Dr. Rostock)

Allgemeine und lokale Schmerzausschaltung durch elektrische Ströme

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des
Medizinischen Doktorgrades
an der
Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin

vorgelegt von

Georg Pfeiffer
aus Lindenberg (Allgäu)

Tag der Promotion: 28. Mai 1941

Druck: Karl u. Richard Hoffmann, Charlottenburg, Schillerstr. 44,

M 255

Gedruckt mit Genehmigung

der

Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Kreuz
Referent: Prof. Dr. Haase
Referent: Prof. Dr. Rostock.

Das Wissen, daß elektrische Ströme betäuben können, ist nicht neu. Es ist eine jahrtausende alte Naturerfahrung, die der Mensch z. B. aus den Wirkungen des Blitzes gewonnen hat. M. Stéphane Léduc hat um das Jahr 1900 Untersuchungen angestellt, mit elektrischen Strömen einen Zustand zu erzeugen, der einer Narkose gleichzukommen schien. Während experimenteller Studien der elektrischen Erregung der Nerven fand er einen Strom der narkotisierende Eigenschaft hatte. Diese Entdeckung veranlaßte ihn umfassende Experimente in dieser Richtung anzustellen. Er brachte mit seinem Strom von bestimmter Frequenz, Periodendauer und Intensität sowohl allgemeine als lokale Schmerzausschaltung zustande und sprach von „elektrischem Schlaf" bzw. „elektrischer Lokalanästhesie". Seine Forschungen haben verblüffende Ergebnisse gebracht. Bei der außerordentlichen Bedeutung der Narkosefrage haben mehrere Forscher weitere umfangreiche Untersuchungen angestellt und die Ergebnisse waren zum Teil recht bedeutend. Besonders die Versuche an Kaninchen und Hunden deckten manche großen Vorteile der elektrischen Schmerzausschaltung auf. sodaß einige Forscher die Elektronarkose bei Tieren bereits als das Mittel der Wahl bezeichneten. Auch einige Versuche an Menschen wurden mit Erfolg vorgenommen.

Forschungen auf dem Gebiet der Elektronarkose beim Säugetier reichen bis etwa in das Jahr 1925 und sind dann m. W. endgültig fallen gelassen worden.

Vorliegende Arbeit hat den Zweck, die in Vergessenheit geratene Methode darzulegen und an Hand der Literatur nachzuweisen, warum die Untersuchungen wohl abgebrochen wurden und die praktisch klinische Anwendung nicht zur Ausführung kam. Sie hat ferner die Frage zu beurteilen, ob durch eine verbesserte Methodik sich die Elektronarkose oder vielleicht die elektrische Lokalanästhesie

doch einmal praktisch durchsetzen könnte und weiter, ob nicht durch eine andere Stromart als der bis jetzt verwendeten, bessere Resultate zu erzielen wären, sodaß die elektrische Schmerzausschaltung klinisch in Anwendung kommen könnte.

Bevor ich auf die genaueren Einzelheiten der Elektronarkose eingehe, will ich eine kurze Uebersicht über die Léduc'schen Versuche geben. Léduc verwendete intermittierenden Gleichstrom, der in der Sekunde 100mal unterbrochen wurde. Der Strom von ca. 5 V Spannung kam so zur Applikation, daß die Kathode am Kopf, die Anode an der Lendengegend befestigt wurde. Nach Einschleichen des Stromes gerät das Tier, ohne Zeichen des Schmerzes zu äußern, in einen Schlafzustand ähnlich wie bei der Chloroform- oder Aethernarkose. Die Dauer des Schlafes kann viele Stunden betragen, so lange eben der Strom fließt. Bei plötzlichem Einschalten der vollen Voltzahl fällt das Tier zur Seite und zeigt tetanische Krämpfe und Atemstillstand. Nach wenigen Sekunden verschwinden diese Erscheinungen und die Atmung wird ruhig und gleichmäßig. Das Tier scheint nunmehr in einen Zustand vollkommener Anästhesie verfallen zu sein. Man kann alle operativen Eingriffe an ihm vornehmen, es reagiert nicht mehr darauf. Nach Ausschaltung des Stromes wacht das Tier sofort auf, ohne äußere Schädigungen zu zeigen. Zwecks Erzielung einer Lokalanästhesie verwendete Léduc denselben Strom. Er befestigte die Elektroden an der Volarseite proximal und distal des Unterarmes und ließ den Strom aufwärts fließen. Nach einem Stadium des Kribbelns trat Anästhesie ein, so daß Kneifen und Stechen nicht mehr gespürt wurden.

Anästhesierende Ströme — Der Léduc-Strom.

Léduc suchte für seine Arbeiten über elektrische Nervenerregbarkeit einen Strom, der in Bezug auf Stromkurve exakt beurteilt werden kann. Außerdem sollte der Strom in Bezug auf Stromstärke, Spannung, Frequenz genau bestimmbar sein. Beim faradischen Strom sind diese Größen

fast unbekannt und wechseln von Apparat zu Apparat. Die Erregungen dabei sind, wie Léduc sagt, eine Folge brüsker Erschütterungen, sie haben eine kurze Dauer und ein hohes Potential. Léduc fand den intermittierenden Gleichstrom, dessen Erregungswirkung hundertmal weniger brüsk und hundertmal milder sei (Léduc). Mit dem unterbrochnen Gleichstrom hatte Léduc nicht nur ein ausgezeichnetes Erregungsmittel für das Nerv-Muskelpräparat, sondern auch einen wirksamen Narkosestrom gefunden.

Bereits 1864 hatte Kühne festgestellt, daß Wasserpflanzen durch regelmäßig unterbrochenen galvanischen Strom eine Hemmung der Plasmabewegung zeigten. Léduc erkannte als erster die hohe Wirksamkeit dieses Stromes in Bezug auf Betäubung. Diese Elektrizitätsform ist seither die einzig bekannte, mit der man beim Säugetier eine echte Anästhesie bewirken kann. Léduc bezeichnet faradische, sinoidale- und Wechselströme ungeeignet zur Erzeugung der Elektronarkose. Auch Roos erzielte weder mit konstantem noch mit faradischem Strom Anästhesie; es trat bei wirksamer Stromstärke stets Tetanus auf.

Tschagowetz dagegen fand, daß mit Gleichstrom, wenn er mit krampferregender Intensität eingeschaltet und allmählich erniedrigt wird, ein oberflächlicher Schlafzustand herbeigeführt werden kann; ebenso soll nach Einleitung mit intermittierendem Strom durch Gleichstrom der Schlafzustand unterhalten werden können.

Ein anderes Verhalten zeigen die Kaltblüter. Hier wirkt der konstante Gleichstrom und ebenfalls der Sinusstrom in ähnlicher Weise wie der intermittierende Gleichstrom beim Warmblüter. Mach berichtete 1875 als erster die Beobachtung einer elektrischen Betäubung und zwar bei Anwendung des galvanischen Stromes bei Fischen. Die Untersuchungen Herrmanns haben ergeben, daß ein konstanter galvanischer Strom, der im ZNS. absteigend fließt, auf Froschlarven und Fischembryonen beruhigend wirkt. Dieselbe Erscheinung fanden Blasius und Schweitzer bei Fischen. Aufsteigende Durchströmung dagegen erzeugt nach Nagel Zittern, Unruhe, verstärkte Atembewegungen. Die Tiere drehen und wenden sich, bis die Körperachse in ab-

steigender Richtung sich eingestellt hat; dann tritt Beruhigung ein. Steigert man die Stromstärke, so werden die Tiere analgetisch und reagieren nicht mehr auf mechanische Insulte. Scheminsky hat auch durch Wechselstrom bei Fischen einen lähmungsartigen Zustand mit Seitenlage, Unbeweglichkeit und mechanische Unerregbarkeit erzielt. In einer späteren Arbeit konnte aber dieser Verfasser zeigen, daß es sich hier um keine Narkose, sondern um eine allgemeine Muskelkontraktion handelt, durch die der Fisch in seiner freien Beweglichkeit behindert wird und gelähmt erscheint. Er hat bei Wassertieren durch Wechselstrom immer nur Krämpfe beobachten können und bei Fischen nachgewiesen, daß die Wirkung des Coffeins mit der des Wechselstroms im Gegensatz zur Galvanonarkose sich addiere. Er setzt für das Wort Wechselstromnarkose die Bezeichnung „Stadium der Unbeweglichkeit". Schilf hat die durch Wechselstromwirkung bei Hunden erzeugten epileptiformen Krämpfe mit Kaliumbromid gehemmt gesehen, daß die Krämpfe bei größerer Stromstärke wieder auftraten. Diese Ergebnisse zeigen, daß man wohl auch bei höheren Tieren nicht mit einer Schmerzausschaltung durch Wechselstrom rechnen kann.

Der intermittierende Gleichstrom dagegen entfaltet seine höchste anästhesierende Wirksamkeit, wenn die Unterbrechungszeit- und Häufigkeit auf eine ganz bestimmte Größe einreguliert werden. Ein Verständnis dafür bahnt sich uns, wenn wir die Nernst'sche Formel verwenden. Diese zeigt die Abhängigkeit von Frequenz und Stromstärke bei ihrem Einfluß auf die Erregung:

$$\frac{i}{\sqrt{N}} = K$$

Je größer die Unterbrechungsfrequenz (N) ist, desto größer muß auch die Stromstärke (i) sein. Die Unwirksamkeit der Hochfrequenzströme ist demnach klar; die nach der Formel zu errechnende Stromstärke ist praktisch nicht zu erreichen. Bei zunehmender Stromschlußdauer verliert das Gesetz an Exaktheit und gilt zuletzt nicht mehr. Denn bei konstanten Strömen tritt durch Polarisationsvorgänge eine neue Ein-

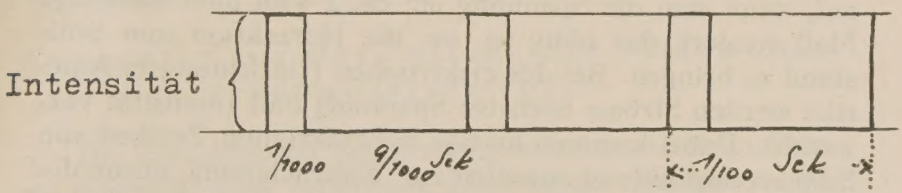
stellung und Anpassung der Funktion der Zelle auf. (Akkomodation). Nur rasche Potentialänderungen sind adäquate Reize für die Zellen.

Wenn wir nun nach der Nernst'schen Formel eine hohe Unterbrechungsfrequenz immer mehr vermindern, so wird auch die nötige Stromstärke immer kleiner zu wählen sein um denselben Effekt zu erzielen. Da wir uns damit immer mehr dem physiologisch unwirksamen Gleichstrom nähern, müssen wir eine Unterbrechungszahl durchlaufen, wo gerade noch ein Effekt erzielt wird. Die nötige Stromstärke ist dann das Minimum.

Lapique hat gefunden, daß die Akkomodation bei 100 Unterbrechungen pro Sekunde in Erscheinung tritt. Es ist kein Zufall, daß diese für die Elektronarkose bisher gefundene günstigste Unterbrechungszahl mit dieser identisch ist.

Die für die elektrische Schmerzausschaltung gefundene wirksamste Elektrizität ist ein Léduc'-Strom mit ca. hundert Schließungen und Oeffnungen pro Sekunde, bei einem Verhältnis von Stromschlußdauer zu Strompause wie 1:10.

Schema:



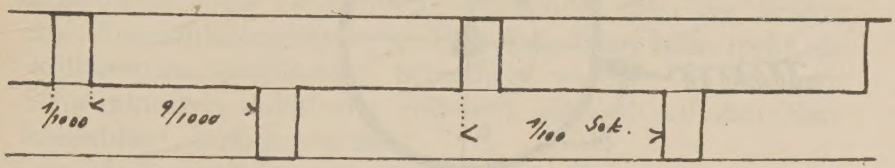
Eine Erhöhung der Frequenz ist ohne wesentlichen Einfluß. Nur die Grenze nach unten darf nur wenig unterschritten werden, da schnell Erwachen des Tieres eintritt. Bei sehr niedriger Reizfrequenz kommen heftige Muskelreaktionen allgemeines Muskelzittern, krampfartige Zusammenziehungen der Extremitätenmuskulatur, excessive Atemexkursionen zustande. Gleichartig wirkt eine Steigerung der Frequenz auf über 300. Während die Muskulatur bei einer Frequenz von hundert pro Sekunde sich ziemlich ruhig verhält, treten bei erheblicher Abweichung von dieser Zahl heftige Muskelsensationen auf, besonders dann, wenn der Strom verstärkt wird. Léduc erzeugte nach Oeffnen eines

intermittierenden Stroms von 55 V und 4 Sekunden Dauer bei einem Kaninchen einen epileptischen Anfall. Das Unterbrechungsverhältnis 1:10 konnte nur wenig verändert werden; bei stärkerer Abweichung blieb das Tier unbeeinflußt oder geriet bei Erhöhung des Stroms in Tetanus.

Ueberhaupt scheint es sich beim Léduc'schen Strom um die bisher physiologisch optimal wirksamste Stromform zu handeln. Die Reizschwellen bei Verwendung intermittierender Gleichströme liegen viel niedriger, als beim galvanischen Strom gleicher Intensität. Beispielsweise konnte Liebesny bei Aufstellung von Zuckungskurven mit dem galvanischen Strom erst bei 18 Milliampere eine Zuckung auslösen, während beim Léduc'schen Strom schon mit 4 Milliampere eine Zusammenziehung gleicher Höhe eintrat. Ein Froschgastrocnemius der durch konstant schwellenden Strom bis zur vollständigen Erschöpfung gereizt wurde, konnte durch unmittelbar darauf eingeschalteten Léduc'schen Strom zu Kontraktionen veranlaßt werden, welche hinsichtlich der Zuckungshöhe diejenigen auf galvanische Reizung bei ganz frischen Muskeln übertrafen. Nach Léduc tritt bei seinem Strom Elektrokution bereits auf, wenn man die Spannung um ca. 2 Volt über dasjenige Maß steigert, das nötig ist, um die Herzaktion zum Stillstand zu bringen. Bei der elektrischen Hinrichtung in Amerika werden Ströme höchster Spannung und Intensität verwendet. Dabei kommen heftige Kontraktionen, Zeichen von Schmerzempfindung zuweilen zur Wahrnehmung, bevor die Perception aufgehoben ist. Manchmal zwingt Freiwerden von Hitze und Brandentwicklung zur Unterbrechung. Bei Verwendung des Léduc'schen Stromes wären solche Stromstärken und Spannungen nicht nötig. Es genügt eine verhältnismäßig schwache Intensität, um nach erloschener Perception das Herz zum Stillstand zu bringen.

Wir haben also im intermittierenden Gleichstrom ein höchst wirksames Mittel. Es erzeugt Narkose und Lokalanästhesie bei niedrigen Stromstärken und Spannungen und bei Erhöhung der Intensität über das physiologische Maß kommt es zu Dysfunktionen und Aufhören der Lebensfähigkeit, während bei anderen Stromarten erst bei verhältnismäßig hoher Intensität Wirkungen zu erzielen sind.

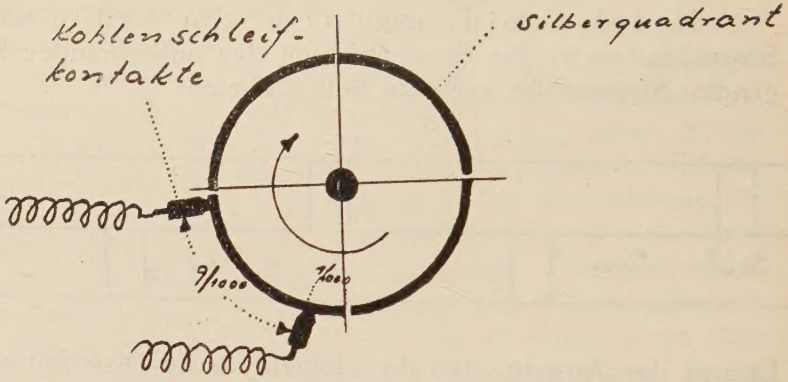
Nagelschmidt modifizierte den Léduc'schen Strom, indem er die Stromrichtung der nacheinander folgenden Stromstöße wechseln ließ. Schema:



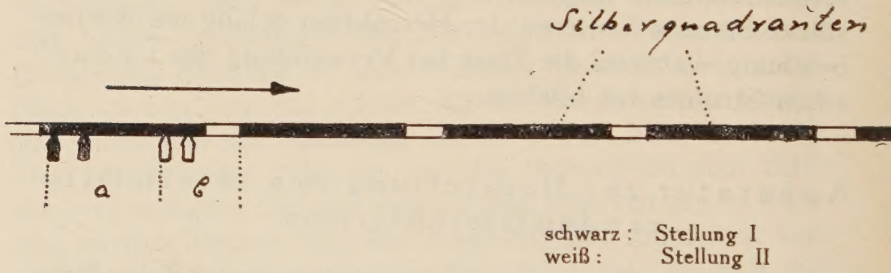
Er war der Ansicht, daß die elektrolytische Dissoziationswirkung beim galvanischen Strom größer sei, als beim Wechselstrom. Stromschlußdauer und Unterbrechungsfrequenz blieben dieselben. Mit dieser Stromform habe er bessere Resultate erzielt, als mit dem gewöhnlichen intermittierenden Gleichstrom. Bei Steigerung der Stromstärke bis zum Sistieren der Herzaktion gelang die Wiederbelebung, während die Tiere bei Verwendung des Léduc'schen Stromes tot blieben.

Apparatur zur Herstellung des intermittierenden Gleichstroms.

Die Konstruktion des Stromunterbrechers ist im Prinzip folgende: Eine rotierende Trommel aus Hartgummi besitzt auf ihrer Oberfläche vier voneinander isolierte Silberschalen. Die Isolation ist so schmal, daß die Schalen nahezu ein Viertel der Oberfläche einnehmen. Auf der Trommel schleifen zwei Bürsten oder Kohlenschleifkontakte, die gegeneinander verstellbar sind. Schleifen beide Kontakte auf ein und demselben Silberquadranten, so ist der Strom geschlossen. Es ist verständlich, daß bei jeder Umdrehung vier Unterbrechungen zustande kommen müssen. Eine Umdrehung erzeugt also vier Perioden. Durch die Wahl des Abstandes der beiden Schleifkontakte ist es möglich, die Stromschlußdauer während einer Periode zu regulieren.



Sind die beiden Kontakte eng gegeneinander gestellt, so ist die Dauer (a), während welcher beide auf einem Sektor schleifen, im Verhältnis zur Unterbrechung lang:



Sind sie dagegen sehr weit gestellt, so ist die Stromschlußdauer (a) nur ein Bruchteil der Oeffnungsdauer:

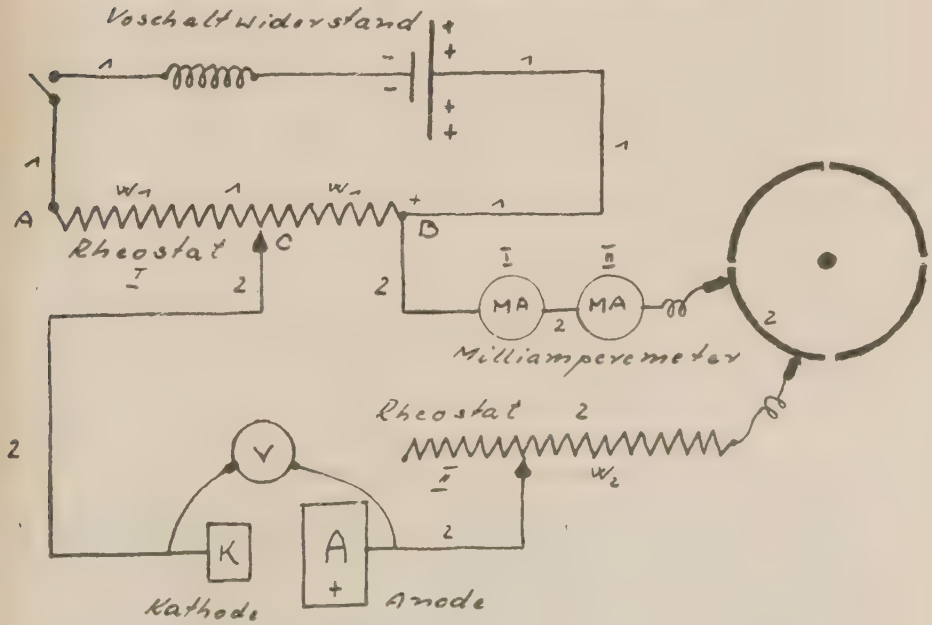
Die Zahl der Perioden hängt von der Tourenzahl des Motors ab.

Tschagowetz hat den Gleichstrom durch Stimmgabelschwingungen unterbrochen. Auch Roos arbeitete mit einer durch Luftstrom angetriebenen Stimmgabel, oder er verwendete einen Quecksilberturbinenunterbrecher.

Der Stromkreis zur Erzeugung des elektrischen Schlafes ist zusammengesetzt aus Stromquelle, Potentialregulator, Unterbrecher, Stromwender, Milliamperemeter und Objekt. Ein Voltmeter wird zwischen die beiden Elektroden angebracht. Als Stromquelle verwendet man am besten eine Accumulatorenbatterie. Der Netzstrom kann nicht als vollkommen gleichmäßig betrachtet werden; es kommen Schwankungen dabei vor, die sehr störend auf den Narkoseablauf wirken würden.

Als Beispiel für ein geeignetes Schaltschema wähle ich die Versuchsanordnung von Neergaard, weil sie auf den Erfahrungen der früheren Forschungen aufgebaut ist. Seine Stromquelle bestand in einer Accumulatorenbatterie von 36 großen Zellen mit 72 Volt Spannung und einer Leistungsfähigkeit von 50 Ampère.

Schaltschema: von Neergaard (modifiziert):



1 = Stromkreis I
2 = Stromkreis II.

Der Strom fließt durch den Schiebewiderstand w_1. An den Enden A und B herrscht ein bestimmtes Potentialge-

fälle. Durch den Stromkreis 2 fließt kein Strom, sobald C bei B liegt. Wird C nach A verschoben, so tritt an den Klemmer BC eine steigende Spannung auf. Der Strom fließt über die beiden Amperemeter zum Unterbrecher, passiert den Schiebewiderstand w_2, tritt an der Anode in Tier ein und strömt von der Kathode zurück nach C. Die am Milliamperemeter abgelesene Stromstärke ist bei Stromschluß nach dem Ohm'schen Gesetz vom Gesamtwiderstand des Stromkreises 2 und der angelegten Spannung (BC) abhängig. Bei rotierendem Unterbrecher ist die Stromstärke außerdem noch eine „lineare Funktion" des Bruchteils der Stromschlußdauer. Da die Eigenschwingungszahl des Milliamperemeters viel größer ist, als die Periodenzahl, so wird der Zeiger nicht jedem Stromstoß folgen können. Er stellt sich entsprechend dem Stromintegral auf ein gleichmäßiges niedriges Niveau ein, welches sich vom Stromgipfel um so mehr entfernt, je kürzer die Stromschlußdauer ist. Es läßt sich demnach die Stromschlußdauer errechnen. Mißt zum Beispiel die Stromstärke bei Stromschluß ohne Unterbrechung 20 Milliampere und bei Einschaltung des Unterbrechers 2 Milliampere, so muß die Stromschlußdauer ein Zehntel betragen. Auf diese Weise läßt sich also die richtige Einstellung der Schleifkontakte leicht beurteilen.

Während der Narkose müssen Stromstärke und Spannung ganz fein reguliert werden können, ohne daß eine auch noch so kurze Stromunterbrechung erfolgt, denn eine solche hätte starke Zuckungen des Tieres zur Folge.

Vorbereitung zur elektrischen Schmerzausschaltung.

Die Stellen, an denen die Elektroden aufgesetzt werden sollen, müssen sorgfältig geschoren und rasiert sein. Entfettung der Haut mit Benzin oder Aether ist dringend erforderlich. Die Bleielektroden werden mit einer mehrfachen Lage von Mull umwickelt und sehr stark mit 1%iger Kochsalzlösung durchfeuchtet. Die Kathode ist die Kopf-, die Anode die Lendenelektrode, die um ein mehrfaches größer sein muß. Wird die Kathode an den Kopf gelegt,

so ist die benötigte Intensität geringer, der Schlafzustand vollkommener als bei positiver Kopfelektrode, wobei zwar auch Schlaf erzeugt werden kann, aber die Voltzahl vergrößert werden muß. Die Kopfelektrode soll nicht zu groß sein, um ein Abströmen des elektrischen Stromes über andere Bahnen als durch das Gehirn zu vermeiden (Neergaard). Der Strom soll beim Warmblüter in anterio-posteriorer Richtung verlaufen und zwar vom Vorderhaupt zur hinteren Rückenpartie. Um bei Einleitung der Narkose das Auftreten von Schwindel zu vermeiden, muß auf das genaue symmetrische Liegen der Kopfelektrode geachtet werden. Die Intensität des Schwindels ist umso größer, je transversaler die Stromrichtung im Gehirn ist. Wird in einer Hemisphäre mehr Strom geleitet als in der anderen, so tritt ein Potentialgefälle auf, das zu transversalen Stromschleifen führt und Schwindel erzeugen kann (Léduc).

Wie schon erwähnt, sollen die Tiere sehr glatt geschoren werden, sonst wird der Widerstand zu groß. Werden Wunden gesetzt, so passiert es, wie allgemein berichtet wird, daß der ganze Strom durch die Wunde geht und die heftigsten Schmerzen verursacht.

Die Widerstandsmessung des Organismus ist für die Versuche von einiger Wichtigkeit. Wir können denselben nach dem Ohm'schen Gesetz aus Spannung und Stromstärke errechnen. Da der Tierwiderstand während der Versuche einigermaßen gleich bleibt, bietet er die beste Kontrolle für das richtige Funktionieren der ganzen Apparatur. Größen, die den Widerstand des Tierkörpers bestimmen, sind die Leitfähigkeit des Körpers einschließlich der Haut, die Größe der Elektroden und ihre gegenseitige Entfernung.

Manche Forscher u. A. auch Léduc sind der Ansicht, daß durch anfängliches Hindurchleiten eines kontinuierlichen Gleichstromes die Leitfähigkeit der Haut erhöht werden könnte. Auch glauben manche Autoren, daß die vorherige Durchleitung mit Gleichstrom die Hautsensibilität herabsetze. Neergaard hält diese Meinung für falsch und vermutet, daß die im Laufe der Versuche besser werdende Leitung auf einer allmählichen Durchnässung und Erweichung der Haut beruhe. Da bei mangelhafter Durch-

feuchtung eine zu große Stromdichte in einzelnen Poren auftritt, hält er es überhaupt für ratsam durch frühzeitiges Auflegen alkalischer Kompressen eine gründliche Quellung der Epidermis herbeizuführen.

Das Einschalten der Apparatur

Im Beginn ist Widerstand w_2 ganz ein- und w_1 ganz ausgeschaltet. Nun wird der Unterbrecher in Gang gebracht und die Tourenzahl durch Verschieben des Widerstandes so einreguliert, daß 25 Unterbrechungen pro Sekunde erfolgen. Das entspricht einer Periodenzahl von 100 pro Sekunde. Die Kohlenkontakte werden auf ein Zehntel Stromschlußdauer eingestellt.

Nach Schließung des Stromes im Stromkreis 1 wird C nach A verschoben. Durch das auftretende Potentialgefälle kommt jetzt ein Stromfluß im Kreise 2 zustande. Die Stromstärke wird mit Hilfe von w_2 gesteigert. Bis Zeichen der Exzitation eintreten, kann die Intensität rasch erhöht werden; dann aber darf der Strom nur ganz allmählich und gleichmäßig zunehmen.

Um beim Kaninchen den elektrischen Schlaf zu erzeugen, ist eine Spannung von 6–8 Volt und eine Stromstärke von 1—2 Milliampere im unterbrochenen Stromkreis nötig, was bei kontinuierlichem Stromkreis 10–20 Milliampere entsprechen würde. Roos gibt als optimalen Wert bei demselben Tier 5 Volt und 2–3 Milliampere an. Dieses Spannungs- und Intensitätsoptimum kann bis auf kleine Schwankungen bei jedem Kaninchen beinahe als Regel gelten. Für den Hund fand Roos den optimalen Strom von 12 Volt und 7.2 Milliampere. Im Léduc'schen Selbstversuch betrug die Spannung 35 Volt und die Stromstärke 4 Milliampere. Tschagowetz fand an der Katze bei 0.5 bis 1,0 Milliampere leichtes Zucken, bei Schließen eines Stromes von 2–5 Milliampere trat dauernde Unruhe auf. Bei 10 Milliampere kommt es zu einem kurzdauernden Krampf der gesamten Muskulatur. Bei 15–20 Milliampere erfolgt anhaltender allgemeiner tonischer Krampf mit Atemstillstand. Bei Verminderung der Intensität auf 5—10 Milliampere zeigt das Tier normalen Puls und beschleunigte

Atmung. Es liegt reglos und ziemlich unempfindlich da. Die Sehnenreflexe sind erhöht und zwar umsomehr, je stärker der Strom ist. Auch Roos konstatierte beim Kaninchen gesteigerte Achillessehnenreflexe.

Der Narkoseverlauf.

Vor Eintritt der Narkose wird ein Stadium der Exzitation durchlaufen, welches im allgemeinen stärker und unangenehmer sein soll, wie bei der Inhalationsnarkose. Léduc schildert, daß dieses Stadium durch vorsichtige Steigerung des Stromes unterdrückt werden könnte. Nach Neergaard und Roos ist das nur in ganz seltenen Fällen möglich. Als erstes Zeichen der Stromeinwirkung wird ein Zittern des Tieres durch tetanische Anspannung der gesamten Muskulatur wahrgenommen. Da die Nackenmuskulatur an Stärke überwiegt, wird der Kopf starr hochgehoben, die Augen sind, bei erhaltenem Cornealreflex, krampfartig geschlossen. Vielfach kommt es zu Speichelsekretion und Schluckzwang. Bei weiterer Stromerhöhung macht das Tier plötzlich Abwehrreaktionen und wilde Bewegungen mit dem Kopf. Zuweilen beginnen die Tiere angstvoll zu heulen. Die Atmungsfrequenz ist nunmehr verlangsamt.

Léduc hält diese Exzitation ziemlich identisch mit derjenigen bei der Chemonarkose. Neergaard verneint eine Wesensgleichheit mit dem Hinweis, daß die elektrische Exzitation auf ganz anderer Basis entstehe und deshalb mit einem anderen Maßstab gemessen werden müsse.

Bei weiterer Stromsteigerung verliert sich dieses Erregungsstadium. Die Muskulatur ist zunächst noch gespannt. Aktive Körperbewegungen sind noch zu sehen. Die Sensibilität erscheint bereits stark herabgesetzt. Die Atmung ist langsam und erschwert. Neergaard spricht von „Preßatmung". Roos zählte beim Kaninchen im Wachzustande eine Atemfrequenz von 105, im Schlaf 85 bis 90. Nach ihm ist die Atmung in der Narkose außerdem tiefer und regelmäßiger.

Wenn der Schlaf vollkommen ist, läßt der Muskeltonus deutlich nach, wenn auch nie eine völlige Erschlaffung

zu erzielen ist. Vollkommene Schmerzausschaltung erscheint eingetreten zu sein. Tschagowetz konstatierte in Bezug auf Schmerz und taktile Reize, daß Durchstechung einer Hautfalte, wenn es langsam geschah, wirkungslos blieb. Geschah es mit Nachdruck, dann trat Kontraktion der ganzen Extremität auf. Roos stach mit Nadeln tief in die Schnauze und die Vorderpfoten, ohne daß das Tier Schmerz äußerte. Wenn der Einstich rasch geschah, krümmte sich die betreffende Extremität ein wenig. Größte Operationen können im Stadium narcoticum vorgenommen werden. Tschagowetz schildert, daß das Verhalten der Tiere ähnlich sei wie im Schlafe. Bewegungen, die sie in der Narkose ausführten, glichen denen, die unwillkürlich und bewußtlos geschahen.

Die Beendigung der Narkose geschieht plötzlich durch Ausschalten des Stroms. Nach Léduc ist das Erwachen spontan. Das Tier richtet sich in der Regel sofort auf und zeigt keinerlei Zeichen von Schmerz, Schreck und Müdigkeit; es springe lustig herum und fresse sofort die dargereichte Nahrung. Die Tiere bleiben zutraulich und zeigen kein Widerstreben gegen eine neue Narkose. Neergaard dagegen beobachtete, daß die Tiere nach der Narkose noch einige Zeit matt und wie benommen waren. Besonders die Hinterbeine versagen zunächst noch vollständig. Da die außerhalb der Strombahn liegenden hinteren Extremitäten eine erhöhte Erregbarkeit aufweisen, ist es möglich, daß dieselben übermüdet sind. Der Gang ist daher zuerst taumelnd. Nach einer viertel bis einer halben Stunde zeigt das Tier nur noch geringe Müdigkeit. Roos beobachtete, daß nach Ausschleichen des Stromes die Tiere regungslos bis zu 7 Minuten im Schlafzustand verharrten. Erst auf lautes Klatschen sprang das Tier spontan in die Höhe und war sofort munter. Auch Tschagowetz schreibt, er hätte nie das plötzliche Erwachen beobachtet, von dem Léduc berichtet. Nach langem Einwirken der Ströme sollen sich paretische Zustände der Extremitäten bemerkbar machen.

Ist die Narkosestromhöhe bekannt, so kann durch fast plötzlichen Stromschluß sofort Vollnarkose erreicht wer-

den. Das Tier fällt um und befindet sich bereits nach 15 Sekunden im Schlafzustand. Vorher treten Muskelkontraktionen auf und ein vorübergehendes Sistieren der Atmung. Roos hat bei seinen Versuchen herausgefunden, daß es nicht gleichgültig ist, ob man die Stromstärke schnell oder langsam erhöht. Er hatte bessere Resultate, wenn er ziemlich rasch oder momentan bis zur optimalen Voltzahl hinaufging. Beim Einschleichverfahren mußte die Normalvoltzahl um etwa 2—3 überschritten werden; die Tiere bekamen tetanische Krämpfe, die Atmung war unregelmäßig und schneller und der Darm entleerte sich.

Die einzelnen Körperfunktionen verhalten sich wie folgt: Atmung: zunächst entstehen tiefere Atembewegungen, die sich bei Steigerung der Stromstärke beschleunigen. Zuweilen sind sie mehr oder weniger unregelmäßig. Das Volumen des Thorax nimmt beträchtlich zu; es nähert sich der Inspirationsstellung. Schließlich sinkt der Thorax wieder mehr und mehr in Mittelstellung zurück. Wächst die Stromstärke weiter, so wird die Atmung oberflächlich und schließlich tritt Atemstillstand ein. Die Herzaktion erscheint hier noch unverändert. Bei nunmehriger Unterbrechung des Stromes treten nach einer tiefen Inspiration Atembewegungen von erst kleinerer, dann größerer Frequenz auf. Auch Touffier und Jardry fanden bei größerer Stromstärke ein Sistieren der Atmung ohne Beeinträchtigung des Herzens. Geringe Stromstärkeherabsetzung brachte die Atmung wieder in Gang. Nach Stromunterbrechung bleibt die Atmung noch etwas vertieft und geht allmählich auf den Normalwert zurück. Den Atemstillstand kann man bis zu einer Minute andauern lassen und öfters ohne Schaden wiederholen. Léduc hatte bei Feststellung der maximal erträglichen Stromstärke 74mal Atemstillstand erzeugt und nur in zwei Fällen kam es zu unbeabsichtigtem Tod. Kam nach Stromunterbrechung die Atmung nicht mehr vollständig in Gang und war bereits asphyktischer Herzstillstand eingetreten, so konnte die Wiederbelebung durch Schließung und Oeffnung desselben Stromes im Tempo der normalen Atembewegungen wirksam betrieben werden. Die Atemmuskulatur wird hierdurch zu Kontraktionen veranlaßt, so daß ein hörbarer

Luftstrom in der Nase bemerkt wird. Diese Methode war nach Léduc in über 50 % der Fälle erfolgreich. Steigerung der Spannung um 1—2 Volt über die atemlähmende Potentialdifferenz führt zum Herzstillstand und Tod.

Die Zirkulation wird erst später als die Atmung beeinflußt. Die ersten Anzeichen sind Pulsverlangsamung und Unregelmäßigkeiten der Herzaktion. Im Schlafzustande ist der Herzspitzenstoß nach Roos mehr hebend.

Der Blutdruck steigt erst an, sinkt daraufhin etwas ab, um alsbald erneut zu steigen. Er bleibt während der Narkose auf einem erheblich über der Norm liegenden Wert stehen. Nach Stromöffnung sinkt der Blutdruck meist sofort wieder auf den Ausgangswert zurück.

Die Pupillen sind eher verengt, reagieren aber auf Licht. Auch der Cornealreflex ist meist erhalten.

Die Reflexe der hinteren Extremität sind stets erhöht, während die Reflexe an den oberen Partien und im Gesichte aufgehoben sind. Roos machte auf das verschiedene Verhalten zwischen Vorder- und Hintertier aufmerksam. Er hatte den Eindruck, daß das Vordertier in stärkerem Schlafe zu liegen scheine. Zuweilen gelang es ihm, durch Kneifen am Hinterleibe das Tier zum teilweisen, aber nie vollkommenen Erwachen zu bringen. Die Achillessehnenreflexe waren nach Roos gewöhnlich erhöht. Nur wenn die Elektrode tief auf dem Rücken sitzt, sind die Reflexe der unteren Gliedmaßen mitunter aufgehoben. Haben wir also in den Nervenbahnen, die innerhalb der Strombahn liegen, eine herabgesetzte Erregbarkeit, so ist sie für alle Teile, die sich außerhalb des Strombereichs befinden, stark erhöht und zwar, wie es scheint, durch Fortfall der Hemmungen. Das gilt besonders für die hinteren Extremitäten, die während der Narkose eine starke Erregbarkeit zeigen und nach dem Erwachen, wahrscheinlich durch Uebermüdung, noch eine Zeitlang ihren Dienst versagen.

Darm und Blase werden gewöhnlich anfangs entleert. Beim Hund hat Roos beobachtet, daß er stets defäkierte, was beim Kaninchen nicht die Regel war. Die Körpertemperatur sinkt nach Robinowitsch etwas.

Harnuntersuchungen auf Eiweiß und Zucker sind, wie Roos mitteilt, stets negativ verlaufen. Kein Angstdiabetes konnte festgestellt werden.

Elektronarkose beim Menschen.

Léduc schildert eine Narkose die Malherbe und Rouxeau bei ihm selbst vorgenommen haben. Er verspürte zunächst ein unangenehmes aber durchaus erträgliches Gefühl in der Haut, welches bei Steigerung des Stromes verschwindet. Dann traten Zuckungen der Muskulatur des Gesichts, Halses, und Vorderarmes auf. Die Sprache war erschwert und zuletzt völlig behindert. Bald bestand eine völlige Unfähigkeit motorisch auf Schmerzreize zu reagieren. Parästhesien in Händen und Füßen traten auf. Die Muskulatur war weder ganz erschlafft noch gespannt. Bei der Stromhöhe, bis zu welcher sich die Narkotiseure gewagt haben, hörte Léduc noch alles was um ihn herum vorging. Seine Glieder waren ihm wie erstarrt. Tast- und Schmerzempfindungen waren stark abgeschwächt, wie verschleiert. Am peinlichsten empfand er die Unfähigkeit, Bewegungen auszuführen oder zu sprechen. Er fühlte wie bei einem Alpdrücken das Herannahen einer großen Gefahr. Bei einem zweiten Versuch mit einer Dauer von 20 Minuten wurde der Strom auf 35 Volt und 4 Ampère gesteigert. Auch diesmal war die Narkose nicht ganz vollkommen. Nach Stromunterbrechung trat sofortiges Erwachen bei bestem Allgemeinbefinden ein. Auch Touffier und Jardry machten Versuche an Patienten, welche angaben, daß die subjektiven Unlustgefühle nicht sehr viel verschieden waren von denjenigen bei einer Chloroformnarkose. Der ganze Ablauf sei vielleicht etwas unangenehmer gewesen. Leclerc, der zwei Narkosen bei Menschen ausführte, schreibt, daß das Exzitationsstadium etwas heftiger in Erscheinung getreten sei. Einmal machte er in Elektronarkose einen chirurgischen Eingriff bei einem inoperablen Carcinoma uteri. Die Atmung war von normaler Frequenz, vielleicht etwas keuchend. Im übrigen war Patientin völlig ruhig. Das Erwachen trat nach wenigen Sekunden leichter Benommenheit ziemlich plötzlich ein. Von dem Eingriff hatte Patientin

nichts gespürt. Eine zweite, achtzigjährige Patientin, mit einem Wangencarcinom wurde 50 Minuten narkotisiert. Die Operation verlief glatt. Bei 32 Milliampere trat Atemstillstand ein. Nach Zurückgehen auf 30 Milliampere kam die Atmung sofort wieder in Gang. Zuckungen fibrillärer Art hinderten das Operieren nicht. Auch hier erwachte nach Stromunterbrechung Patientin sofort und war munter. Stunden danach verfiel Patientin in einen immer tiefer werdenden Schlafzustand und kam am 4. Tag im Koma ad exitum. Die Sektion ergab schwere Cerebralsclerose mit deutlicher Erweichung der capsula interna. Die Ursache der Erweichung wurde auf Blutdrucksteigerung zurückgeführt. Viel spätere Untersuchungen von Jacobi und Magnus haben gezeigt, daß Elektronarkose Hirnödem machen kann: und zwar kommt als auslösender Faktor die auftretende Hyperämie in Frage. Die genannten Verfasser wandten die Elektronarkose nach Léduc an einer Reihe von Hunden an, um die pathologische Physiologie des Hirnödems zu studieren. Durch Trepanation des Schädels gelangten die pialen Gehirngefäße zur direkten Beobachtung. Das bei den Versuchen stets in Erscheinung getretene Oedem der weichen Hirnhäute erklärten die Verfasser vornehmlich als Stauungsödem. Es ist demnach leicht einzusehen, daß bei einem größeren Gehirngefäßschaden, wie er im obig beschriebenen Unglücksfall offenbar bestanden hat, die Oedementstehung bedeutend begünstigt wird. Eine Apoplexieentstehung infolge Steigerung des Blutdrucks wäre ebenfalls denkbar. Vorliegender Unglücksfall könnte also allenfalls gegen die Anwendung der Elektronarkose bei älteren Leuten mit Arteriosclerose ins Feld geführt werden.

Galvanonarkose bei Kaltblütern.

Wie schon erwähnt, gelingt die Elektronarkose bei Warmblütern nur mit dem im zweiten Absatz genauer beschriebenen intermittierenden Gleichstrom. Bei Kaltblütern ist Elektronarkose auch ausführbar durch Anwendung galvanischer Ströme. Auf diese sogenannte „Galvanonarkose" soll im folgenden kurz eingegangen werden. Blasius und Schweitzer beobachteten bei Versuchen über die Gal-

vanotaxis der Fische, daß von einer bestimmten Stromstärke ab die Fische sich nach dem positiven Pol ausrichteten. Werden die Tiere aus dieser Lage herausgedreht, so machen sie solange wilde Bewegungen, bis ihre ursprüngliche, „ausgerichtete Lage" wieder erreicht ist; in der sie ruhig verharren. Bei weiterer Steigung der Stromstärke kommt Analgesie zustande; die Tiere rühren sich nicht mehr auf äußere mechanische Einwirkungen. Sie liegen wie tot im Wasser. Nach Ausschalten des Stromes bleiben sie noch solange in Ruhe, bis ein äußerer Reiz sie „weckt". Dann verhalten sich die Tiere wieder ganz normal. Wenn also im Beginn der Narkose deutliche Elektrotaxis auftritt mit Ausrichtung nach dem positiven Pol, so ist bei Eintreten der vollen „Galvanohypnose", wie die genannten Autoren den Zustand bezeichneten, die Achsenstellung des Fisches für die Aufrechterhaltung des Zustandes gleichgültig. Auch bei aufsteigender Durchströmung könne Bewegungsruhe erzielt werden, nur müssen die Tiere in dieser Lage fixiert werden. Scheminzky, Hochstädt und Adler haben an Fröschen einen Unterschied in der Wirkung des absteigenden und aufsteigenden Stromes analysiert. Der absteigende Strom führt zur Muskelruhe, Reaktionslosigkeit und Fehlen von Aktionsströmen, während der aufsteigende Strom bei gleicher Stärke Muskelkrämpfe mit starken Aktionsströmen erzeugt. Die Reizbeantwortung durch das Rückenmark ist im absteigenden Strom aufgehoben, im aufsteigenden verstärkt. Es muß daher als gesichert angesehen werden, daß bei der Galvanonarkose der Kaltblüter nur die absteigende Stromrichtung narkotisch wirkt. Dem Eintritt der Narkose geht auch bei Kaltblütern ein Exzitationsstadium voraus. Dasselbe besteht in Krämpfen klonisch-tonischer Art. Dieses Exzitationsstadium wird bei kurz aufeinanderfolgenden Durchströmungen immer schwächer und verschwindet schließlich ganz, während die Galvanonarkose unverändert bei gleicher Stromstärke eintritt. Mit dem Léduc'schen Strom wurden von einzelnen Forschern Versuche an Fischen durchgeVführt. Die Tiere (Goldfische, Hechte) fielen nach Durchlaufung eines Erregungsstadiums schnell in tiefe Narkose.

Die Bauchseite war nach oben oder nach der Seite gerichtet. Die Stromrichtung war für das Eintreten der Narkose ohne Bedeutung. Nach Stromunterbrechung gebärdeten sich die Tiere wieder wie normal.

Die periphere Schmerzausschaltung.

Die elektrische Lokalanästhesie ist in der Therapie vielfach angewendet und zur Beeinflussung schmerzender Erkrankungen z. B. Migräne, Bronchialasthma, Angina pectoris usw. herangezogen worden. U. A. übte O. Günzel 1908 die Behandlung mittels des intermittierenden Gleichstroms. Er wurde dazu durch die Beobachtung veranlaßt, daß mit hoher Frequenz unterbrochener Gleichstrom einen schmerzenden Nerven peripherwärts der Applikationsstelle schmerzfrei macht. Nach längerem Durchströmen wird das Gebiet sogar völlig empfindungslos. Bei einem Mädchen entfernte er eine in den Bändern des zweiten Daumengelenks festgesetzte Nadel in elektrischer Lokalanästhesie. Er legte um das Handgelenk die biegsame, stoffumzogene, feuchte negative Elektrode, um den Daumenballen eine ebensolche positive Elektrode und ließ frequent intermittierenden Gleichstrom von 2—3 Milliampere und 25—30 V fließen. Nach 3 Minuten war der Daumen völlig empfindungslos. Die Operation gestaltete sich ruhig ohne Schmerzäußerung der Patientin. Der Autor beobachtete weiter, daß Neuralgien, Migräne und rheumatische Schmerzen unter der positiven Elektrote sich sofort linderten und zuweilen Schmerzlosigkeit für dauernd zustande kam. Er war der Ueberzeugung, daß der unterbrochene Gleichstrom die Erregung eines Nerven bis zur Empfindungslosigkeit herabsetzt. Zur Verwendung kam intermittierender Gleichstrom von etwa 230 Unterbrechungen pro Sekunde. Die Spannung betrug 25—30 V, die Stromstärke 2—10 Milliampere. Die Anode lag auf der Haut über der schmerzenden Stelle die Kathode war indifferente Elektrode. Auch in der Zahnheilkunde wurde die anästhesierende Wirkung der Anode verwertet.

G. Oppenheim erzeugte völlige Lokalanästesie durch Verwendung von Tonfrequenzströmen, die er mit Meß-

platten bzw. Frequenzplatten erzeugte. Diese sind Schallplatten, welche alle möglichen Frequenzen in reinen oder überlagerten Tönen liefern. Ein Schallplattentriebwerk setzt die aufgelegte Platte in Rotation. Die Nadel eines elektrischen Tonabnehmers gerät in Schwingungen und erzeugt in den Drahtwindungen der elektrischen Schalldose schwache Ströme, die einem Röhrenverstärker zugeführt und auf die gewünschte regulierbare Spannung und Stromstärke gebracht werden. Oppenheim durchströmte mit einer Frequenz von 600 –3000 Hertz sensible Nerven, indem er die differente Elektrode auf einen Nervenpunkt aufsetzte oder z. B. am Finger ringförmige Elektroden verwendete. Es trat im ganzen Verlauf des Nerven peripher von der Elektrode zunächst Parästhesie und Taubheitsgefühl und bei weiterer Verstärkung des Stromes völlige Anästhesie auf. Gute Erfolge wurden auch bei der Behandlung schmerzender Erkrankungen erzielt. Insbesondere über die Therapie bei Trigeminusneuralgien wird Günstiges berichtet.

Léduc hatte Selbstversuche mit Lokalanästhesie am N. medianus der Hand gemacht. Er verspürte zunächst mit wachsender Stromintensität ein Jucken in den Fingern sowie in der ganzen Region, die von den zu betäubenden Nerven innerviert wird. Die Empfindung in dieser Gegend verschwindet danach soweit, daß man nicht angeben kann, ob man gestochen, gezwickt oder geschnitten wird. Zuletzt war die Sensibilität völlig erloschen. Da motorische Kontraktionen sehr störend sind, wenn man den Versuch an gemischten Nerven macht, kann nach der Meinung des Autors diese Methode nur bei rein sensiblen Nerven verwendet werden.

Auch Neergaard hat einen Versuch von Lokalanästhesie der Hand vorgenommen. Er befestigte die Anode (10 x 14 cm) am proximalen Teil des Unterarmes und die differente Kathode (3 x 4 cm) an der volaren Seite des Handgelenkes. Es trat zunächst ein Gefühl von Surren der ganzen Hand auf, bei stark verminderter Schmerzempfindung. Die Intensität betrug 4 Milliampere. Höhere Strom-

stärken erzeugten tetanieähnliche Krampfzustände der kleineren Handmuskeln. Zeichen von Parästhesien traten mit kontinuierlichem Gleichstrom unter der Kathodenschließung bei 0.75 Milliampere auf, während bei Anodenschließung 1.1 Milliampere nötig waren, um dasselbe Gefühl zu erzeugen. Bei Kathodenöffnung betrug die nötige Amperezahl 2.2, während bei Anodenöffnung durch diese Stromstärke keine Anästhesie erreicht wurde. Analog dem Pflügerschen Zuckungsgesetz ist also die Kathodenschließungswirkung auch bei den sensiblen Nerven die intensivste. Beim intermittierenden Gleichstrom wirkte die Kothodenschließung bei 0.35 Milliampere, die Anodenschließung dagegen schon bei 0.25 Milliampere. Es scheint der kontinuierliche und intermittierende Gleichstrom eine entgegengesetzte Wirkung auf die Sensibilität zu haben. Mit zunehmender Stromschlußdauer und zwar bis $^1/_{100}$ pro Sekunde nahm die parästhesierende Wirkung zu. Die Verhältnisse darüber hinaus konnten wegen des Mangels der Apparatur nicht untersucht werden. Zusammenfassend sagt Neergaard, daß der Grad der Anästhesie nicht immer ein vollständiger sei, aber für die meisten Zwecke genügen würde.

Erklärung der Wirksamkeit der anästhesierenden Ströme.

Für die Beurteilung der Brauchbarkeit der Elektronarkose ist es von größter Wichtigkeit zu wissen, ob es sich um eine wirkliche Anästhesie und nicht, wie manche Autoren annehmen, um eine Art Curarisierung handle. Eine Deutung der Wirkungsweise der elektrischen Ströme hatte Léduc nie abgegeben. Er war geneigt, den Zustand für Narkose zu halten, ähnlich wie die Chloroform- oder Aethernarkose. Für eine wirkliche Narkose spricht in der Tat das von allen Forschern festgestellte Fehlen jeder Feindschafts- und Abwehrbewegung bei häufiger Wiederholung. Hier liegt der Beweis vor, daß die Tiere nie eine unanngenehme Erinnerung von dem Vorgefallenen zurückbehalten haben mußten. Hunde wären empfindlich genug, um sich gegen unangenehme Außenreize negativistisch einzustellen. Außer Léduc hielten besonders Jardry

und Touffier die Elektronarkose für eine wirkliche chirurgische Anästhesie und nicht für eine Curarisation. Das Urteil dieser Forscher muß insofern höher bewertet werden, als sie die Elektronarkose beim Menschen angewendet haben.

In Bezug auf Galvanonarkose bei Kaltblütern sind Loeb, Maxwell, Garrey sowie Blasius und Schweizer der Auffassung, daß die Narkose nur durch allgemeine Muskelspannung vorgetäuscht werde. Scheminzky und Adler jedoch konnten zeigen, daß diese bei Fischen sicher nicht zutrifft, denn kleine Dosen chemischer Narkotika addiere die Wirkung. Scheminzky hat nachgewiesen, daß bei Fischen eine unwirksame Dosis eines Narkotikums und eine unwirksame Stromstärke sich zur vollständigen Unempfindlichkeit addieren können. Nach Adler wird die Narkose durch die erregende Wirkung des Coffeins deutlich vermindert, bzw. das Coffein läßt Galvanonarkose erst bei stärkeren Strömen als sonst eintreten. Roos konnte durch Pikrotoxin Kaninchen aus dem elektrischen Schlaf erwecken. Auch gelang es ihm, durch Strychnin erzeugte erhöhte Reflexerregbarkeit durch den elektrischen Strom zu unterdrücken. Diese Versuche beweisen doch eindeutig, daß es sich bei der Elektronarkose um einen der chemischen Narkose annähernd analogen Zustand handeln muß. Tschermak denkt an die Erregung eines cerebralen, hemmend wirkenden Zentrums (sog. Schlafzentrum). Gegen diese Erklärung spricht u. a. die elektrische Lokalanästhesie. Hess hat im paraventriculären Gebiet des Hirnstammes schwache, pulsierende Gleich- und Sinusströme einwirken lassen und erzeugte bei Katzen schlafartige Dämpfung der Aktivität, während starke Ströme einen Erregungszustand hervorbrachten. Tschagowetz hält die elektrische Betäubung für einen parabiotischen Zustand im Sinne Wedenskys. Neergaard weist auf die starke Exzitation hin mit den ausgedehnten fibrillären Zuckungen, dem zuweilen tetanischen Kontraktionszustand der Muskulatur und deutet den ganzen Zustand weniger im Sinne einer Lähmung als einer Reizung. Nach der Auffassung Höbers handelt es sich um eine durch Reizung bedingte Auflockerung der Grenzschichten, sodaß die phy-

siologischen Schwingungsebenen der Permeabilität verlagert sind. Schweizer und Blasius nehmen an, daß die Elektronarkose auf Anelektrotonus bestimmter Gehirnteile beruhe. Borutteau und Mann dachten an eine so starke Erregung sämtlicher nervösen Zentra, daß jede Assoziationserregung gegenüber der exogenen Erregung unterschwellig bliebe. Scheminzky, Hochstädt und Adler haben nachgewiesen, daß die durch den galvanischen Strom im ZNS bewirkten Erregbarkeitsänderungen nach Stromunterbrechung ins Gegenteil umschlagen und glauben dadurch eine wichtige Stütze für die Elektrotonushypothese zu haben. Die Nachwirkungen werden mit physikalisch-chemischen Veränderungen an den erregbaren Apparaten in Zusammenhang gebracht. Wie beim physiologischen Elektrotonus würde eine Erregbarkeitsdämpfung von einer Steigerung und umgekehrt gefolgt sein. Der Angriffspunkt des elektrischen Stromes könnte nur die Gehirnnervenzelle sein, wobei eine bestimmte Anordnung der Zellen im ZNS vorausgesetzt werden müßte.

Bevor weitere Theorien besprochen werden sollen, seien zum besseren Verständnis einige physiologische Grundtatsachen erläutert: Die Leitfähigkeit des elektrischen Stromes in wässerigen Lösungen beruht auf der Wanderung von Ionen, welche aus der Dissoziation der Elektrolyte entstehen. Die Leitfähigkeit ist also hier an Ionen gebunden. Es kommen aber auch für die Stromleitung Kolloidteilchen, sog. Ultramikronen, in Frage. Diese besitzen eine elektrische Ladung durch Adsorption von Ionen. Ihre Beweglichkeit ist im Verhältnis zu den Ionen viel kleiner. Die wichtigsten Anionen sind Cl, CO_3, OH, PO_4; die wichtigsten Kationen K, Na, H, Mg, Ca. Wird ein Potential angelegt; so beginnen die Ionen zu wandern und zwar hängt die Wanderungsgeschwindigkeit von der Höhe des Potentials, mit dem sie sich proportional verhält, ab. Im Organismus wird der elektrische Strom hauptsächlich von der Interzellularflüssigkeit, von den Lymph- und Blutbahnen geleitet. Eine Leitung durch Zellen dürfte nur in geringerem Maße bestehen, da die Zellwände isolierende Membranen darstellen. Eine Stromleitung durch Zellen ist nur insofern denkbar, als eine eingetretene Aenderung des Ionenmilieus um die Zelle

ein Potential zwischen Zellinnen- und Außenwand erzeugt. Die Ionen werden dann allmählich die Zellwand passieren. Die Wirkung auf die Zellen ist sicher bei den einzelnen Strömen sehr verschieden. Ein kurzdauernder Strom erzeugt zwar eine plötzliche Dyslokation der Ionen, welche aber nach Stromunterbrechung sich sofort wieder ausbalancieren. Bei längerem Einwirken ist es denkbar, daß durch Aenderung des Ionenmilieus um die Zelle der kolloidale Zustand der Zellmembran sich ändert und die Funktion der ganzen Zelle sich neu einstellt und anpaßt. Es kommt zur „Akkomodation" und bei starken Strömen, wenn Anpassung unmöglich ist, zur Parabiose. Aus der Nerv-Muskelphysiologie ist bekannt, daß vor allem rasche Potentialänderungen adäquate Reize für die Zellen sind. Neergaard setzt die Induktion in Analogie. Auch hier hat rascher Stromanstieg- und Abfall den kräftigsten Effekt. Die Zellmembran ist Sitz elektromotorischer Kräfte, was Beutner in seinen umfangreichen Arbeiten gezeigt hat. Die biologische Wirkung elektrischer Ströme können wir uns also so vorstellen, daß durch Aenderung des Ionenmilieus das Grenzphasenpotential der Zelle, seine Permeabilität und damit die Zellfunktion selbst geändert wird. Scheminzky hat gezeigt, daß Fischeier (Forelleneier) unter dem Einfluß von Gleichstrom Salze an die Umgebung verlieren und vermutet, daß Aenderungen der Membrandurchlässigkeit die Ursache für die veränderte Zellfunktion sind. Weiß hat am Froschmuskel gefunden, daß eine nicht erregende Dauerdurchströmung die Phosphorausscheidung vermehrt, das Eintreten der Kalilähmung befördert und die neuromuskuläre Erregbarkeit herabsetzt. Erscheinungen die für eine Steigerung der Membrandurchlässigkeit sprechen. In der Anodengegend, wo die H-Ionen vermehrt sind, ist die Permeabilitätszunahme besonders ausgeprägt. H. Groll beobachtete an der Schwimmhaut des Fisches bei Durchleitung eines Stromes von 20–40 Milliampere am Anodenbein zahlreiche Stasen in den Capillaren. Groll macht die primäre Gewebsschädigung dafür verantwortlich und glaubt, daß die H-Ionie eine sekundäre Folge davon sei. Auch Jacobi und Magnus fanden am Ort des trepanierten Hirns schwere Zirkulationsstörungen und

reichliche Absonderung von lymphatischer Flüssigkeit in und auf der Hirnhaut. Es ist bekannt, daß auch Narkotica Aenderungen der Permeabilität hervorrufen (Winterstein). Da die Elektronarkose in ihrem Gesamtablauf weitgehende Aehnlichkeiten mit der Chemonarkose hat, können wir annehmen, daß beide auf ähnlichen Vorgängen beruhen.

Bei der Art der Wirkung elektrischer Ströme auf den Organismus spielen Stromschlußdauer, Stromstärke und Stromkurve offenbar eine große Rolle. Je nach dem Zustand des Stromes wird eine Steigerung oder Abschwächung der Zellfunktion resultieren.

Die elektrische Lokalanästhesie deutet darauf hin, daß außer der veränderten Zellfunktion auch eine Dämpfung bzw. Blockierung der Nervenleitung für die Schmerzausschaltung verantwortlich gemacht werden kann. Léduc schildert in seinem Selbstversuch das anfängliche Schwinden der Motorik, dann der Sensibilität und schließlich des Bewußtseins. Wäre der primäre Angriffspunkt die Nervenzelle allein, so müßte man, wie bei der Inhalationsnarkose eine frühzeitige psychische Verwirrung, eine Art Rausch erwarten, auf Grund der Störung der Assoziationen. Da, wie Léduc angibt, die geistige Klarheit nach der Motorik und Sensibilität schwindet, ist es wahrscheinlich, daß der Narkosestrom vielleicht durch Anelektrotonus die Leitfähigkeit der Nervenfaser beeinflußt. Elektrische Ströme nehmen den Weg des geringsten Widerstandes. Sie durchströmen bei der Elektronarkose in großer Dichte den Rückenmarkskanal, weil ihnen hier keine isolierenden Schichten entgegenstehen und beeinflussen sicherlich die zahlreichen langen Leitungsbahnen, indem sie ihre Leitfähigkeit herabsetzen. Hermann, Breuer und Scheminzky haben an geköpften Wasserwirbeltieren nachgewiesen, daß auch hier der galvanische Strom beruhigend wirkt, was beweist, daß der primäre Angriffspunkt nicht das Gehirn zu sein braucht. Die frühere Ausschaltung der Bewegungsfähigkeit gegenüber der Sensibilität könnte damit zusammenhängen, daß der Bewegungsimpuls auf der Nervenbahn soweit geschwächt wird, daß er unterschwellig am Erfolgsorgan ankommt, während in der sensiblen Leitung eine Empfin-

dungsqualität bei gleicher Abschwächung doch noch ins Bewußtsein tritt, weil die Reizschwelle der Körperfühlssphäre wahrscheinlich sehr viel tiefer liegt. Die Assoziationen bleiben vielleicht deswegen solange ungestört, weil ihre Fasersysteme mehr senkrecht oder schräg zur Stromrichtung verlaufen. Erst bei wachsender Stromstärke werden Stromschleifen auch diese Assoziationsbahnen hemmen. Gerade die elektrische Lokalanästhesie ist kaum anders zu erklären, als daß man den Angriffspunkt des Narkosestroms in der Nervenfaser selbst sucht. Die Elektrotherapie macht seit vielen Jahren von der Herabsetzung der Nervenerregbarkeit Gebrauch. So wird die Anode zur reizlosen Ausschaltung tonisch erregter Nerven benutzt. Sie wirkt erregbarkeits- und leitungsherabsetzend. Der Strom muß so durch den betreffenden Nerven geschickt werden, daß er in der physiologischen Leitungsrichtung des Nerven strömt; bei sensiblen Nerven also aufsteigend.

Bei verschiedenen Wasserwirbeltieren tritt nur durch absteigenden galvanischen Strom Narkose ein, während bei aufsteigender Durchströmung die Tiere in einen Muskelkrampf verfallen. Diese gegensätzliche Wirkung könnte nach Scheminzky durch den an jeder Zelle angreifenden An- bzw. Katelelektrotonus geklärt werden, wenn man eine bestimmte konstante räumliche Anordnung der Ganglienzellen annimmt, sodaß bei absteigender Stromrichtung der Anelektrotonus gerade auf die Austrittsstellen der Neuriten fällt, während bei aufsteigender Stromrichtung der Katelelektrotonus dort einwirkt. Die bei jeder Galvanonarkose auftretende Exzitation muß nach Scheminzky, Fourtes und Köllensperger auf einer erregenden Wirkung des absteigenden Stromes in den übergeordneten Zentren beruhen. Denn Enthirnung von Fröschen mittels eines thermischen Querschnittes durch Kurzwellenwärmebäder verhinderte das Auftreten des Exzitationsstadiums. Die Krämpfe während der aufsteigenden Durchströmung sind rein tonischer Art und können nicht mit den Erscheinungen der Exzitation verglichen werden.

Wenn im Vorhergehenden vom Wesen der elektrischen Schmerzausschaltung die Rede war, so müssen wir uns nunmehr die Frage vorlegen, ob es sich bei der Elektro-

narkose noch um physiologische Hemmungsvorgänge handelt, oder ob wir uns hier nicht bereits an der Grenze der Schädigung, der Alteration befinden. Eine verhältnismäßig geringfügige Steigerung der Stromstärke führt zum Stillstand der Atmung und der Herztätigkeit. E. du Bois-Reymonds sagt, daß Reizwirkungen des Stromes bereits die erste Stufe der Elektrolyse bilden. Stärkere Ströme werden natürlich durch Ionenverschiebungen und dadurch bedingter chemischer Sekundärreaktionen besonders an den Elektroden wirkliche Elektrolyse bewirken, wobei das lebende Gewebe abgetötet, mortifiziert, zerstört wird. Wie ist es nun bei der Elektronarkose? Jacobi und Magnus fanden nach Elektronarkose ein Oedem der Pia und vermehrte Flüssigkeitsabsonderung auch im gefäßlosen Gehirnbereich, doch scheinen diese Veränderungen nur bei Verwendung von stärkeren Strömen aufzutreten. Es ist klar, daß zu der die Narkose bedingenden Ionenverschiebung und Konzentrationsänderung an den Grenzflächen ein gewisses Maß von elektrischer Energie erforderlich ist (Borutteau). Wird dieses Maß nicht überschritten, so haben wir wie bei der Chemonarkose sicher einen reversiblen Zustand der Hypofunktion des ZNS. Es kommt nur darauf an, den Strom zu finden, der bei geringster Intensität jenen Zustand der gewünschten Hypofunktion erzeugt und frei von Nebenwirkungen ist. Der Léducstrom scheint diesem sehr nahe zu sein. Jede davon stark abweichende Stromart könnte vielleicht auch Narkose erzeugen aber erst in einem Moment, wo bereits Parabiose vorherrscht. Das entspräche unreinem Aether oder Chloroform.

Beurteilung der praktischen Brauchbarkeit der elektrischen Schmerzausschaltung.

Es ist an Hand der Literatur schwer nachzuweisen, warum die Forschungen auf dem Gebiet der elektrischen Schmerzausschaltung bei Säugetieren stehen geblieben sind. Die französische Literatur zeigt in der Beurteilung der Elektronarkose einen recht günstigen Gesamteindruck, während sich die deutschen Forscher durchwegs ablehnend äußern,

ohne eigentlich die Gründe hierfür näher zu entwickeln. Die starken Reizerscheinungen und die vielfach behauptete geringe therapeutische Breite waren wohl die Hauptmotive. Die von den Franzosen Léduc, Touffier und Jardry beobachtete große therapeutische Breite konnte durch Neergaard, Roos, Oppenheim, Nagelschmidt u. a. nicht bestätigt werden. Wohl gab es Fälle, wo erst bei 3-facher Stromstärke Asphyxie oder der Tod eintrat, aber größer war die Zahl der Tiere, wo beide Werte außerordentlich nahe beieinander lagen. Die letale Stromstärke betrug meistens das 1.5-fache der therapeutischen. Scheminzky berichtet, daß die Schwellenwerte für die einzelnen Stadien bei der Galvanonarkose von Art und Zustand des Tieres abhängig sind. Er gibt an, daß bei größeren Tieren eine bestimmte absolute Stromdichteänderung wirkungsvoller ist, und daß die Toleranzbreite der Galvanonarkose bei größeren Tieren kleiner wird, diese also stärker gefährdet sind. Es ist nicht ausgeschlossen, daß für Säugetiere das gleiche gilt.

Ein Nachteil ist das Fehlen sicherer Kriterien, die uns das Narkoseoptimum erkennen lassen und Gefahren ankündigen. Recht ungünstig wirkt sich zweifellos die vorzeitige Ausschaltung der Motilität insbesondere der Sprache aus. Man wird sich danach schwer ein Bild von dem Grad der Ausschaltung des Bewußtseins machen können. Das weit unangenehmer hervortretende Erregungsstadium kann gegen die praktische Anwendung der Elektronarkose ebenfalls ins Feld geführt werden. Die Atmung erscheint recht gefährdet zu sein. Wenn Léduc allerdings berichtet, daß die Spannung mit welcher man den elektrischen Schlaf erhält, bedeutend überschritten werden muß, um die Respiration aufzuheben (von 6 V auf 10 V) so stehen diesem Ergebnis andere gegenüber, welche weit unerfreulicher sind. Die sogenannte „Preßatmung" wie Neergaard sie bezeichnete, könnte außerdem für manche Kranke ungünstige Folgen haben. Gefährdet erscheinen ferner die Organe der Halsgegend, da hier die größte Stromdichte herrscht. Insbesondere der Glottiskrampf müßte gefürchtet werden. Der Muskeltonus scheint verhältnismäßig groß zu sein und würde für manche Operation recht störend wirken.

Am wichtigsten sind wohl die Gefahren der Hyperämie und akuten Hirnschwellung. Hermann Groll hat an der Schwimmhaut des Frosches bei Durchleitung eines Stromes von 20—40 Milliampere im Anodenbein zahlreiche Stasen in den Kapillaren beobachtet. Am eindruckvollsten sind die Versuche von Jacobi und Magnus, die nach kurzbefristeter Elektronarkose Blutungen und Oedem des Gehirns und der weichen Hirnhäute nach Eröffnung des Schädels beobachteten. Als Ursache scheint eine unmittelbar durch die Elektronarkose gesetzte Gewebsschädigung in Betracht zu kommen. Dafür sprechen, wie Jacobi und Magnus angeben, Kapillarstasen, Stillstand der Blutsäulen und das Auftreten feiner punktförmiger Liquorreflexe im gefäßlosen Gesichtsfeld. Am sterbenden Tier konnten träge Störung, Stasen, Verklumpung der Erythrozyten und Fraktionierung der Blutsäulen beobachtet werden. Der von Leclerc angegebene Todesfall bei einer Frau könnte durch Hirnödem erklärt werden. Ebenso ist es nicht ausgeschlossen, daß die bei der Forschung ad exitum gekommenen Tiere denselben pathologischen Organbefund gehabt haben. Die Gefahr des Hirnödems ist zweifelsohne bei Ueberdosierung besonders groß, während sie bei richtiggewählter Stromintensität keine so beträchtliche Rolle spielen mag, weil mehrstündige Narkosen beim Tier ohne Schädigung vertragen wurden.

Die Elektronarkose in der bis jetzt geübten Form birgt also zweifellos große Nachteile und Gefahren in sich, sodaß ihre praktische Anwendung ausgeschlossen erscheint. Gelänge es durch Verbesserung der Technik oder durch Auffinden einer geeigneteren Stromform, diese Gefahren herabzusetzen, würde die klinische Einführung sicher nicht lange auf sich warten lassen, denn die Vorteile der elektrischen Schmerzausschaltung gegenüber der chemischen sind doch ganz bedeutend. Es sei nur auf die zeitliche Unbegrenztheit der Narkosedauer, die sofortige Reversibilität des Prozesses, das augenblickliche Erwachen ohne Nebenerscheinungen, die exakte leichte Dosierbarkeit, die Möglichkeit der Wiederbelebung durch denselben Strom und das Fehlen jeder toxischen Schädigung des Organismus, hingewiesen.

In Bezug auf die elektrische Lokalanästhesie ist zu sagen, daß diese wegen der dabei kaum bestehenden Gefahren eher zu neuen Versuchen einläd. Die Resultate mit dem Léduc'schen Strom waren doch ganz beträchtlich. Kleine Operationen an Extremitäten könnten unter elektrischer Betäubung, der Literatur nach zu urteilen, ohne weiteres ausgeführt werden. Vielleicht gelänge es, durch Verfeinerung der Elektroden bald bessere Resultate zu erzielen. W. Capelle schlägt vor, den Strom durch eine Reihe percutaner Wundnadeln direkt an die sensiblen Nerven heranzubringen, um den Hautwiderstand zu umgehen. Es könnte sein, daß dann durch weit niedrigere Stromstärken bereits maximale Wirkungen zu erzielen sind.

Auf Grund der vorliegenden Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der elektrischen Schmerzausschaltung beim Säugetier ist es verwunderlich, warum weitere umfangreiche Untersuchungen nicht vorgenommen wurden. Die Forschung ist hier gewissermaßen in ihren Kinderschuhen stecken geblieben. Die von Léduc erzielten Ergebnisse liegen immer noch an der Spitze des ganzen Forschungskomplexes. Spätere Untersuchungen einzelner Forscher haben im Grunde nichts entscheidend Neues mehr gebracht. Sie bestätigten vielmehr nur im großen und ganzen die Léduc'schen Ergebnisse. So blieb die Léduc'sche Apparatur in ihrem Grundprinzip dieselbe. Der Léduc-Strom mit seiner Einhundert-Frequenz und seiner Einzehntel-Stromschlußdauer wurde bis zuletzt als der bestwirksamste Strom angesehen. Die Versuchsergebnisse mußten daher im wesentlichen mit den Léduc'schen übereinstimmen. Es hat vor allem an breit angelegten experimentellen Arbeiten gefehlt. Die Elektronarkose steht weiter entfernt von den Problemen der übrigen Elektrophysiologie bzw. Elektrotherapie und es wären noch eine Reihe von Grundfragen zu lösen, um hier weiter zu kommen. So müßte vor allem die Wirkung des elektrischen Stromes auf die sensible Nervenfunktion sehr genau und ins einzelne gehend untersucht werden, ähnlich wie es in Bezug auf die Motorik geschehen ist (Neergaard). Die Apparatur müßte weiter ausgebaut und verfeinert werden, so daß alle möglichen Stromarten bei zahlreichen Tierexperimenten Verwendung finden könnten. Mit dem rotie-

renden Unterbrecher nach Léduc kann die Unterbrechungsdauer nicht höher als $^{9}/_{1000}$ Sekunden eingestellt werden, ohne Veränderung der Tourenzahl. Bei einer Einstellung auf $^{5}/_{1000}$ muß in Erwägung gezogen werden, ob nicht die Dauer der Unterbrechung statt derjenigen der Schließung für die Wirksamkeit ausschlaggebend ist. Da es sich um Reizzeiten handelt, muß an die Möglichkeit der Summation gedacht werden. Es ist ferner noch zu entscheiden, ob beim Léduc-Unterbrecher die Schließungsdauer eine andere Bedeutung hat, als bei Einzelreizen. Stromform und -Kurve wären physikalisch genau zu erforschen. Die Annahme, der Léduc-Strom habe immer dieselbe, jederzeit wieder herstellbare Kurvenform ist gewiß nur bedingt richtig. Die Form der Kurve ist abhängig von der Konstruktion des verwendeten Unterbrechers, sowie von den recht schwierigen Verhältnissen im übrigen Stromkreis. Auch ist es wahrscheinlich, daß die theoretische Stromkurve von der tatsächlichen gewaltig abweicht. Man glaubt der Strom steige plötzlich an, verharre während der Stromflußzeit auf einer bestimmten Höhe und falle nach der Unterbrechung plötzlich jäh ab. Eingehende elektrophysikalische Untersuchungen müßten zwecks genauerer Definition der verwendungsfähigen Ströme vorgenommen werden. Nach exakten Stromkurven müßten die Apparate geeicht sein, um bei gleicher Versuchsanordnung gleiche Ergebnisse zu haben. Scheminzky hat mit Hilfe eines Saitengalvanometers die Léduc'schen Ströme registriert und gezeigt, wie sehr die gelieferten Ströme von der theoretisch angenommenen Kurve abweichen können. Es ist selbstverständlich, daß ein so veränderter Strom ganz andere Wirkungen hat. Die Ströme in Bezug auf Schnelligkeit des Anstiegs und Abfalls beliebig variieren zu können hält Neergaard technisch für möglich. Er denkt an Unterbrecher mit abgestuften Widerständen und keilförmigen Schleifkontakten aus Material von hohem Widerstand. Sind einmal einzelne wirksame Ströme genau bekannt, dann könnte vielleicht die Idee von G. Oppenheim praktisch angewendet werden. Da es sich um rhythmisch verlaufende Vorgänge handelt, hätten wir in der Schallplatte ein einfaches Mittel, die komplizierteste Form

solcher Ströme jederzeit anzuwenden. Durch das moderne Aufnahme- und Reproduktionsverfahren könnte jede elektrische Schwingung auf die Platte aufgeschrieben und von dieser wieder entnommen werden.

Umfangreiche Arbeiten an peripheren sensiblen Nerven insbesondere Erregbarkeitsprüfungen vermöchten die elektrische Lokalanästhesie weiter zu treiben. Vielleicht sind die Resultate durch neuere Elektrodenkonstruktion zu verbessern. Mit Recht lehnt W. Capelle die bisher angewandte Methodik ab; „Man experimentierte mit Oberflächenelektroden und prüfte die Wirkung auf kurzdauernde Schmerzempfindungen. Bei solcher Versuchsanordnung zersplittert sich der Hauptteil des Stromes am Widerstand der intakten Haut und geht bis über 90 % für die Tiefe verloren". In einer Arbeit über die Bedeutung der Ausschaltung des Wundschmerzes bei Laparatomierten für den normalen Ablauf der Atmung erwähnte Capelle die elektrische Schmerzausschaltung durch Anwendung einer Anzahl nahe aneinander und eng an den Bauchschnitt angelegter percutaner Wundnadeln als Elektroden. Man bringe so den gesamten Strom ohne Widerstand in die Tiefe und behalte gleichzeitig die Stromrichtung in der Gewalt.

Zusammenfassung.

Die von Léduc entdeckte Methode der elektrischen Schmerzausschaltung wurde dargelegt und an Hand der Literatur die Ergebnisse der durch die Arbeiten Léducs ausgelösten weiteren Forschungen beschrieben. Die Ansichten der Autoren über das Wesen der elektrischen Betäubung wurden wiedergegeben und der Versuch gemacht die Wirkungsweise der elektrischen Ströme zu erklären. An Hand der in der Literatur beschriebenen Forschungsergebnisse wurden die Vor- und Nachteile der elektrischen Schmerzausschaltung herausgearbeitet. Trotz zahlreicher Nachteile und Gefahren die die Methode aufweist, bestehen doch einige bedeutende Vorteile, die weitere Forschungen auf dem Gebiet rechtfertigen. Insbesondere die elektrische Lokalanästhesie scheint gute Zukunftsaussichten zu haben. Die Wege für die weitere Arbeit sind auf Grund der bis jetzt gewonnenen Kenntnisse vorgeschrieben. Nur eine ausgedehnte, systematische Forschung verspräche in Anbetracht der Kompliziertheit des ganzen Erscheinungskomplexes Erfolge.

Schrifttum

Adler, P.: Pflügers Archiv 230, 113 (1932)

Beutner: Die Entstehung elektrischer Ströme in lebenden Geweben, 1920.

Blasius und Schweizer: Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. 53, 1893.

— Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. 53, 1893, 493.

Boruttau, H.: Z. f. d. ges. Neur. u. Psych. Nr. 83, 1923.

Boruttau, H. u. Mann, L.: Handbuch der ges. med. Anwend. d Elektrizität.

Breuer, J.: Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Math. Naturwissenschaftl. Klinik 114, Abteil. III (1905).

Capelle, W.: Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie 1936/246.

Eichwald u. Fodor: Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Biologie, Jul. Springer, 1919.

Engelen: Dtsch. med. Wschr. Jg. 38, 1912. Die elektrische Narkose bei Fischen.

Groll, H.: Krankheitsforschung, Bd. I, H. 1, Jan. 1925, Verlag S. Hirzel.

Günzel, O.: Berliner klin. Wschr. 1908.

Holzer, W.: Physikal. Medizin, 1940 Verlag Mandrich.

Hermann, L.: Pflügers Arch. 39, 414 (1886).

— Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 37, 1885, Bd. 39, 1886.

Heß, W. R.: Ber. über die ges. Physiologie Bd. 4, 1909, S. 53.

Höber, R.: Klin. Wschr. Jg. 4, S. 1337, 1925.

Jacobi, W. u. Magnus, G.: Ztschr. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatrie, Bd. 98, 1925.

— Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. 73, H. 1.

Kühne: Untersuchungen über das Protoplasma und die Kontraktilität. Leipzig 1864, S. 92.

Liebesny, P.:. Studien zur Therapie der Lähmungen. Wiener med. Wschr. Nr. 26, 1914.

Leclerc: Anésthesie électr. Congr. franc. de chirurg. 23, 1910.

Léduc, St: Der elektr. Schlaf. Arch. f. physikal. Med. Bd. 5, 1909/11.

— Cpt. rend. hebdem. des séances de l'adac. des sciences, Bd. 85, 1902.

— Cpt. rend. des séances de la soc. biol. Bd. 54, 1902.

Léduc: Arch. d'élektr. méd. 1900, 1903 und 1908.
— Zeitschr. f. Elektrotherapie, 1903, „Ueber elektr. Narkose".
Loeb, J. u. Maxwell, S.: Pflügers Arch. 63, 121 (1896).
Loeb, J. u. Garrey, W. E.: Pflügers Arch. 65, 41 (1897).
Mach, E.: Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig 1875.
Nagel, W. A.: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 59, 1895,
Nagelschmidt: Med. Wschr. 1912, Nr. 51, Verhandlg. d. Berlin. med. Ges. 4. 12. 1912.
Neergaard: Arch. f. klin. Chir., 1923/122.
Oppenheim, G.: Die Schallplatte im Dienste der Elektromedizin. Klin. Wschr., 11. Jg. Nr. 14, 1932.
Robinovitsch, L.: Arch. d'électr. méd., Nr. 181, 1906.
Roos, O.: Studien über den elektr. Schlaf. Inaug.-Diss. Straßburg, 1916
Schilf, E.: Z. exper. Med. 28, 127 (1922).
Scheminzky, F.: Pflügers Arch. 202, 1924.
— Pflügers Arch. 202, 200, 1924.
— Versuche über Elektrotaxis und Elektronarkose, Pflügers Arch. 1923
— Biochem. Ztschr. 132, H. 1/2, S. 154, 1922.
— Z. Biol. 80, 23 (1924).
— Zur Physiologie der Galvanonarkose bei Wassertieren, Pflügers Archiv Bd. 237.
— Einige Bemerkungen über die Unterbrecher zur Herstellung Léduc'scher Mäanderströme. Klin. Wschr. 3. Jg., Nr. 19, 1926.
— Pflügers Arch. Bd. 233, 1933.
Scheminzky, F. u. Gauster, F.: Arch. f. mikroskop. Anat. u. Entwicklungsmechanik.
Scheminzky, F., Hochstädt, O. u. Adler, P.: Ueber das Wesen der Galvanonarkose beim Frosch. Pflügers Archiv 237, 1936.
Scheminzky, F., Fuortes, M. G. und Köllensperger, F. K.: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 242, 1939.
Tschagowetz, W.: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 146, 1912.
Tschermak, A.: Nagels Handb. d. Physiol., Bd. 4, 1909, S. 53.
Tuffier u. Jardry: Presse méd. 1907.
Weis, H.: Pflügers Arch. f. d. ges. Physiologie, 194, H. 1/2.
Winterstein, H.: Die Narkose, Berlin, J. Springer 1919.

Lebenslauf

Der Verfasser, Georg Pfeiffer, wurde am 16. Februar 1913 in Lindenberg im Allgäu als Sohn des verstorbenen Schreinermeisters Gebhard Pfeiffer geboren. Er besuchte nach Absolvierung der Realschule seines Heimatortes die Oberrealschule in Kempten im Allgäu und erwarb dort das Zeugnis der Reife im April 1933.

Nach Erfüllung seiner studentischen Arbeitsdienstpflicht begann er sein Universitätsstudium in Berlin.

Der erforderlichen Ergänzungsprüfung in der lateinischen Sprache unterzog er sich im Mai 1936 am Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin.

Die ärztliche Vorprüfung legte Verfasser im März 1937 in Berlin ab.

Im Juni 1939 meldete er sich nach einem Studiengang von elf Semestern zur Ablegung der Staatsprüfung. Auf Grund des Erlasses des Reichsinnenministeriums vom 1. September 1939 wurde ihm mit Wirkung vom 5. September 1939 die Bestallung als Arzt vorzeitig erteilt.

Danach arbeitete Verfasser als Pflichtassistent im städtischen Krankenhaus in Spandau. Seit 20. Februar 1940 befindet er sich bei der Wehrmacht.